

ANNEE 1936

THÈSE

No

844

POUR LE

DOCTORAT EN MÉDECINE

(DIPLOME D'ÉTAT)

PRÉSENTÉE PAR

Simone LEJARD

Ancien Externe des Hôpitaux de Paris

Née le 16 Mars 1908, à PARIS (Seine)

CONTRIBUTION A L'ÉTUDE
DU COURANT ALIMENTANT
LES AMPOULES A RAYONS X

Président : M. STROHL, Professeur

PARIS

LIBRAIRIE LOUIS ARNETTE

2, RUE CASIMIR-DELAVIGNE, 2

—
1936

ANNEE 1936

THÈSE

N°

POUR LE

DOCTORAT EN MÉDECINE

(DIPLOME D'ÉTAT)

PRÉSENTÉE PAR

Simone LEJARD

Ancien Externe des Hôpitaux de Paris

Née le 16 Mars 1908, à PARIS (Seine)

CONTRIBUTION A L'ÉTUDE DU COURANT ALIMENTANT LES AMPOULES A RAYONS X

Président : M STROHL, Professeur

PARIS

LIBRAIRIE LOUIS ARNETTE

2, RUE CASIMIR-DELAVIGNE, 2

1936

I. — Professeurs

Anatomie	MM.
Physiologie	ROUVIERE
Physique médicale	Léon BINET
Chimie médicale	STROHL
Bactériologie	DESGREZ
Parasitologie et histoire naturelle médicale	Robert DEBRE
Pathologie médicale et générale	PRUMPT
Pathologie médicale	BAUDOUIN
Pathologie chirurgicale	ABRAMI
Anatomie pathologique	(HEVASSU
Histologie	ROUSSY
Pharmacologie et matière médicale	CHAMPY
Thérapeutique	TIFFNEAU
Hygiène et médecine préventive	HARVIER
Médecine légale	TANON
Histoire de la médecine et de la chirurgie	BALTHAZARD
	LAIGNEL
Pathologie expérimentale et comparée	LAVASTINE
Hydrologie thérapeutique et climatologie	FIESSINGER
	Maur. VILLARET
Clinique médicale	LOEPER
	CARNOT
	CLERC
Hygiène et clinique de la première enfance	Marcel LABBE
Clinique des maladies des enfants	LEREBoullet
Clinique des maladies mentales et des maladies de l'encéphale	NOBECOURT
Clinique des maladies cutanées et syphilitiques	H. CLAUDE
Clinique des maladies du système nerveux	GOUGEROT
Clinique des maladies infectieuses	GUILLAIN
	LEMIERRE
Clinique chirurgicale	CUNEO
	GOSSET
	GREGOIRE
Clinique ophtalmologique	LENORMANT
Clinique urologique	TERRIEN
	MARION
Clinique d'accouchements	BRINDEAU
	COUVELAIRE
	JEANNIN
Clinique gynécologique	MOCCOU
Clinique chirurgicale infantile et orthopédie	OMBREDANNE
Clinique thérapeutique médicale	RATHERY
Clinique oto-rhino-laryngologique	LEMAITRE
Clinique thérapeutique chirurgicale	Pierre DUVAL
Clinique propédeutique	SERGEANT
Clinique de la Tuberculose	BEZANCON
Clinique chirurgicale orthopédique de l'adulte	MATHIEU
Cardiologie clinique	LAUBRY
Professeurs sans chaire	HOVELACQUE
	MULON
	OLIVIER
	VERNE

II. — Agrégés en exercice

MM	MM
AMELINE..... Pathologie chirurgicale.	DE GAUDART
BARIETY..... Pathologie médicale.	D'ALLAINES. Pathologie chirurgicale
BENARD Henri Pathologie médicale.	DE GENNES... Pathologie médicale.
BERNARD Et... Pathologie médicale.	GAYET..... Physiologie
BESANCON (J.) Hydrologie.	GIROUD..... Histologie.
BOULIN..... Pathologie médicale.	HAGUENAU... Pathologie médicale
BULLIARD..... Histologie.	HALPHEN..... Oto-rhino-laryngologie
CATHALA..... Pathologie médicale.	HAZARD..... Pharmacologie.
CHEVALLIER... Pathologie médicale	HUGUENIN... Anatomie pathologique
COSTE..... Pathologie médicale.	JOANNON..... Hygiène.
DOGNON..... Physique.	LABBE Henri.. Chimie biologique
FEY..... Urologie.	LACOMME..... Obstétrique.
FUNCK	LANTUEJOUL.. Obstétrique
BRENTANO Pathologie chirurgicale.	LAROCHE Guy. Pathologie médicale
GALLIARD.... Parasitologie.	LELONG..... Pathologie médicale.
GASTINEL.... Bactériologie.	



MM.

LEMAIRE Pathologie expérimentale.
 LEVEUF Pathologie chirurgicale.
 LEVY (M^{re} J) .. Pharmacologie.
 LEVY-VALENSI. Neurologie et Psychiatrie.
 MENEGAUX ... Pathologie chirurgicale.
 MOLLARET ... Pathologie médicale.
 MOREAU Pathologie médicale.
 MOULONGUET. Pathologie chirurgicale.
 MOUQUIN Pathologie médicale.
 OBERLING Anatomie pathologique.
 PETIT-

DUTAILLIS. Pathologie chirurgicale.

MM.

PIEDELIEVRE. Médecine légale
 PORTES Ophtalmologie.
 RENARD (L.). Physiologie.
 RICHEL Obstétrique
 SANNIE Chimie biologique.
 SENEQUE Pathologie chirurgicale
 TROISIER Pathologie expérimentale
 TURPIN Pathologie médicale.
 VIGNES Obstétrique.
 WILMOTH Pathologie chirurgicale

III Agrégés rappelés à l'exercice pour le service des examens

MM.

ALGLAVE Pathologie chirurgicale.
 BUSQUET Pharmacologie.
 CHAILLEY-
 BERT Physiologie.

MM.

LEROUX Anatomie pathologique
 NEVEU-
 LEMAIRE Parassitologie
 PHILIBERT Bactériologie.

IV Agrégés chargés de cours de clinique annexe à titre permanent

MM.

ALAJOUANINE. }
 AUBERTIN }
 BRULE }
 CHABROL }
 CHIRAY }
 DONZELOT } Clinique médicale
 DUVOIR }
 LIAN }
 VALLERY-RADOT }
 (Pasteur). }
 SEZARY }

MM.

RASSET }
 BROCC }
 CADENAT }
 GATELLIER }
 HEITZ-BOYER. } Clinique chirurgicale
 MOURE }
 QUENU }
 SCHWARTZ }
 VELTER }
 ECALLE }
 GUENIOT }
 LE LORIER } Clinique obstétricale
 LEVY-SOLAL }
 METZGER }

V. — Chargés de cours

MM.

CHAILLEY-BERT, agrégé. Education physique
 LEDOUX-LEBARD Radiologie clinique
 PHILIBERT, agrégé..... Stomatologie.
 RUPPE Microbiologie.
 WEIL-HALLE Puériculture.

Par délibération en date du 9 décembre 1798, l'Ecole a arrêté que les opinions émises dans les dissertations qui lui seront présentées, doivent être considérées comme propres à leurs auteurs et qu'elle n'entend leur donner aucune approbation ni improbation



Digitized by the Internet Archive
in 2026

A LA MEMOIRE DE MA MERE

•
A MON PERE

A MON MARI

A Monsieur le Professeur STROHL

Chevalier de la Légion d'honneur
Membre de l'Académie de Médecine

*Qui a bien voulu nous accueillir dans
son Laboratoire, nous guider de ses con-
seils et nous faire le très grand honneur
d'accepter la présidence de cette thèse.*

*En témoignage de notre respectueuse
gratitude et de notre profonde admira-
tion.*

A MES MAITRES DANS LES HOPITAUX

Stage et externat

- M. le Professeur P. DUVAL.
- M. le Professeur ACHARD.
- M. le Docteur TREMOLIERES.
- M. le Professeur OMBREDANNE.
- M. le Docteur TIXIER.
- M. le Docteur HALLE.
- M. le Docteur DUHEM.
- M. le Docteur PICOT.
- M. le Docteur BOPPE.
- M. le Docteur BELOT.
- M. le Docteur RONNEAUX.

A MM. les Docteurs :

H. DESGREZ, DUBOST et LEPENNETIER

Electroradiologistes des Hôpitaux

PIFFAULT

Assistant de Physique à la Faculté de Médecine

INTRODUCTION

L'appareillage radiologique s'est considérablement modifié au cours de ces dernières années. Si, d'une part, les générateurs fournissant aux ampoules radiologiques le courant de haute tension, permettant d'atteindre des débits et des tensions plus élevées et deviennent plus faciles à régler, d'autre part le principe de leur fonctionnement se modifie considérablement et les conditions électriques de fonctionnement des ampoules sont très différentes d'un appareil à l'autre. Il nous a semblé intéressant de revoir ces divers types d'installation dans un travail d'ensemble, et d'essayer, par un dispositif simple, d'inscrire, pour chacun d'eux, la forme du courant qui passe à travers l'ampoule et de confronter les courbes obtenues par ce procédé graphique mécanique avec le résultat que l'on peut prévoir en envisageant théoriquement le fonctionnement de l'appareil considéré.

Au cours de ce travail, nous décrirons dans un premier chapitre, le dispositif que nous avons utilisé pour réaliser avec différents types d'installation radiologique, l'inscription de l'intensité et du voltage sous lesquels fonctionne une ampoule à rayons X. Après une brève description des ampoules et un court rappel du principe de leur fonctionnement, indispensa-

ble à bien connaître pour comprendre leur rôle déterminant dans la forme du courant de haute tension, le chapitre suivant concernera la description, le principe de fonctionnement et l'étude théorique et pratique du courant de haute tension pour différentes installations. Il sera par conséquent subdivisé en paragraphes consacrés chacun à un type de générateur.

Dans la dernière partie de notre exposé, nous avons comparé les durées de fonctionnement de tubes Coolidge, de type identique ayant été utilisés sur différents générateurs. Les moyennes de durées confrontées avec les données fournies par l'étude du courant de haute tension employé avec ces tubes nous donneront une idée des conditions de fonctionnement optimum au point de vue de la durée de l'ampoule. Cette étude nous permettra également de voir si ces conditions de durée optimum s'accordent avec le meilleur rendement au point de vue thérapeutique.

TECHNIQUE

Nous avons utilisé, pour réaliser ces inscriptions, l'oscillographe électro-magnétique de Dubois à palette oscillante. Cette palette, tirée vers le haut par deux ressorts, peut osciller autour d'un axe constitué par un fil dont une extrémité est soudée en son centre et l'autre au milieu de l'armature de la bobine traversée par le courant. Grâce à un aimant permanent, un champ permanent intense traverse l'entrefer normalement à la palette et perpendiculairement à sa plus grande dimension. La palette est donc dans une position d'équilibre instable, mais la stabilité est rétablie par deux ressorts antagonistes, qui imposent à la palette une fréquence de plusieurs milliers de périodes par seconde.

Les pièces polaires encastrent la bobine parcourue par le courant à étudier et qui entoure complètement la palette, de sorte que, à chaque passage du courant, la palette s'aimante. Les constructeurs ont choisi pour la palette un métal à forte perméabilité initiale et à faible champ coercitif, il en résulte que le moment magnétique acquis par la palette du fait du passage du courant dans la bobine est proportionnel à l'intensité. L'intervalle séparant la palette et les pièces polaires est de l'ordre de 0 mm. 5 à 1 mm. Les oscilla-

tions de la palette sont si petites qu'on ne commet qu'une erreur négligeable en admettant qu'elle reste constamment normale au champ.

Pour amplifier les oscillations effectuées par la palette, voici le procédé mécanique utilisé : on emploie un ruban d'acier, qui, s'enroulant d'un demi-tour sur un axe portant le miroir de la palette, la fait tourner d'un angle A , relié au déplacement du ruban par la relation $A R = x$, R représentant le rayon de l'axe du miroir qui pivote autour des arêtes de deux couteaux dont la direction coïncide avec l'axe de l'aiguille portant le miroir.

Le rayon de courbure du miroir que nous avons utilisé est de 1 mètre; dans ces conditions, et grâce au dispositif du ruban d'acier et de la poulie que nous venons de décrire, l'amplitude des oscillations de la palette est multipliée par 4.000, de sorte que le déplacement presque imperceptible d'un micron, par exemple, se traduit sur l'échelle par une déviation de l'ordre de 4 millimètres.

Grâce au montage sur couteaux et à la petitesse des amplitudes de la palette, l'amortissement de cet oscillographe est extrêmement faible. En général, on compte plusieurs dizaines d'oscillations avant qu'elles cessent de se manifester sur l'échelle. Aussi est-on en droit d'assimiler l'appareil à un galvanomètre à résonance.

Pour diminuer le nombre des oscillations, précédant l'arrêt définitif, il est indispensable d'immerger la palette dans une petite quantité d'huile minérale.

Il suffit pour cela d'introduire dans l'entrefer quelques brins d'ouate disposés également de chaque côté de la palette et non tassés, et d'imbiber cette ouate au moyen de quelques gouttes d'une huile minérale très visqueuse qui pénètre dans l'entrefer et y demeure par capillarité.

L'appareil ainsi préparé peut fonctionner dans toutes les positions et être transporté sans inconvénient.

La sensibilité et l'amortissement variant en sens inverse, la condition la plus favorable pour obtenir un tracé satisfaisant n'est pas l'amortissement critique; dans ce cas, en effet, la pseudo-période s'annule et le système oscillant, écarté de sa position d'équilibre, y revient apériodiquement.

Le régime d'amortissement optimum est un peu inférieur à l'amortissement critique.

Source de lumière

La source lumineuse est fournie par une petite ampoule à filament rectiligne contenue dans une lanterne munie d'une lentille sphérique devant laquelle se trouve un couvercle percé en son centre d'une mince fente verticale.

L'ampoule utilisée est de 12 volts, mais, durant le temps nécessaire à l'inscription du tracé, la force électro-motrice peut être portée à 20 volts au moyen d'un rhéostat. Dans ces conditions, l'intensité lumineuse est suffisante et la même ampoule permet un assez grand

nombre d'inscriptions. La mise au point du filament de l'ampoule sur le miroir, se fait au moyen de la lentille sphérique. Le spot se présente sous forme d'une raie lumineuse projetée parallèlement à l'axe du miroir et perpendiculairement à une fente derrière laquelle se déplace le papier sensible.

Pour assurer l'inscription de l'image renvoyée par le miroir, nous avons adopté, au début de notre travail, un plateau sur lequel étaient fixés la lanterne, un petit moteur synchrone et une boîte renfermant deux cylindres autour desquels s'enroulait le papier sensible. Malgré la commodité de cet appareil, nous avons dû l'abandonner, le papier ne se déroulant pas régulièrement ni avec une vitesse suffisante. Nous l'avons remplacé par un grand cylindre de 32 cm. de diamètre sur lequel nous fixions, avant chaque inscription, une bande de papier sensible préparée à l'avance. Ce procédé, plus long que le précédent, permet de régulariser le déroulement du papier et d'étaler davantage le tracé. Un petit moteur, dont la vitesse est réglée par un rhéostat, assure l'entraînement du cylindre, protégé de la lumière par une boîte hermétiquement fermée. A la partie antérieure de cette boîte, une fente à largeur réglable et qui n'est ouverte que pendant le temps de l'inscription, pour éviter tout voile du papier durant les manipulations, reçoit l'image renvoyée par le miroir.

Lorsqu'il est impossible de faire l'obscurité complète dans la salle, il faut, afin de ne pas voiler le papier, recouvrir de carton et d'étoffe noirs tout l'en-

semble de l'appareil, à savoir : l'oscillographe, la source lumineuse et le cylindre qui est complètement entouré de plaques de plomb en vue de la protection röntgenienne.

Le cylindre mettant à peine deux secondes pour faire un tour complet et la bande ayant 1 mètre de longueur, le tracé obtenu est suffisamment étalé.

1/50^e de seconde correspond à 15 millimètres environ. Un signal de Desprez placé au bord de la fente de l'appareil enregistreur, inscrit à la fois le temps et la période du secteur alimentant le générateur. Une seconde source lumineuse est nécessaire pour éclairer ce signal.

Nous avons utilisé pour ces inscriptions des bandes de papier sensible du type employé pour la prise des électro-cardiogrammes avec le galvanomètre à corde d'Einthoven.

Nous avons, pour chaque appareil, inscrit séparément l'intensité et la tension en utilisant les montages suivants :

1^o INTENSITÉ : l'oscillographe est monté en série avec l'ampoule.

2^o TENSION : la présence du tube et des kénotrons dans le circuit d'utilisation ne permet pas d'assimiler celui-ci à un circuit composé de résistances ohmiques. Le tube fonctionnant à saturation, il n'y a pas proportionnalité entre l'intensité et la tension du générateur.

Nous avons essayé de nous faire une idée plus ou moins approchée de la tension appliquée au tube en

plaçant notre oscillographe, protégé par une résistance de 10.000.000 d'ohms, en dérivation sur l'ampoule. Cette résistance est formée d'un tube de verre fin entièrement rempli d'alcool à 90°. A chaque extrémité du tube, une petite électrode plongeant dans l'alcool permet le montage de l'appareil. Un tel dispositif modifie grandement ainsi que nous le verrons d'autre part sur les tracés, les constantes du courant.

La dérivation comportant le galvanomètre est un circuit ohmique qui shunte le tube : la régularisation de l'intensité par effet de saturation n'a plus lieu.

Nous n'avons utilisé, pour ces inscriptions, que les ampoules thermo-électroniques, les tubes à gaz n'étant actuellement plus employés. Nous nous bornerons donc à la description des premières, la complétant par celle des kénotrons qui fonctionnent d'après le même principe.

TUBE COOLIDGE ET KENOTRON

Comme ce sont les caractéristiques des tubes radio-gènes et des kénotrons qui conditionnent le fonctionnement des générateurs modernes, nous allons rappeler brièvement ici la description de ces appareils et nous aurons ainsi l'occasion d'émettre quelques remarques qui aideront à comprendre l'influence qu'ils exercent sur la forme des courants des générateurs.

Tube Coolidge

Schématiquement, les tubes thermo-électroniques comprennent toujours :

- une cathode formée d'une calotte creuse contenant le filament,
- une anticathode en tungstène, de forme variable suivant les modèles.

Pour les ampoules destinées à la radioscopie, les constructeurs se sont efforcés de diminuer autant que possible, pour accentuer la netteté de l'image, la surface d'impact du flux cathodique. Ils ont remplacé sa forme elliptique par une forme rectangulaire et incliné le plan de l'anticathode d'un angle tel que cette surface soit amenuisée en apparence. Ce procédé garantit, comme la source ponctuelle, la finesse de l'image et permet d'éviter l'échauffement excessif de cette

surface d'impact, qui bien que très réduite, a tout de même une certaine grandeur

En principe, tous les tubes Coolidge sont auto-sélecteurs, c'est-à-dire qu'ils ne se laissent traverser par le courant qu'au moment du passage de l'onde directe, mais ils ne possèdent cette propriété que tant que l'anticathode reste froide, la cathode portée à l'incandescence étant seule susceptible d'émettre des électrons. Si l'anticathode s'échauffe, elle peut devenir à son tour une source d'électrons et laisser passer l'onde inverse qui risque de détériorer l'ampoule.

Il existe deux types d'ampoules Coolidge :

1° *Les ampoules Standard* qui peuvent fonctionner, soit avec des générateurs fournissant des courants de polarité constante et définie, soit avec des dispositifs utilisant une soupape qui arrête l'onde inverse ;

2° *Les tubes auto-sélecteurs* fonctionnent sur des générateurs donnant un courant alternatif non redressé. Dans ce cas, seule l'onde directe est utilisée.

Lorsqu'on soumet le tube à des différences de potentiel très élevées, comme c'est le cas en radiothérapie, il est préférable de choisir le type standard ; avec les autres ampoules, l'anticathode ne conserverait pas une température assez basse.

L'ampoule Coolidge Standard est formée d'un ballon de verre prolongé latéralement par deux tubulures. La cathode est constituée par un filament de tungstène soudé à deux tiges de molybdène, soudées elles-mêmes à des fils de ferro-nickel cuivrés, en connexion avec le culot qui sert à alimenter le filament.

Cette alimentation est fournie par un transformateur qui abaisse la tension du secteur jusqu'à 8 volts et fournit une intensité de 3 à 5 ampères.

L'anticathode se compose d'un bloc de tungstène, dont la surface plane est inclinée sur l'axe de la cathode et qui est fixé à une tige de molybdène soudée à un conducteur de platine ou de ferro-nickel traversant le verre de l'ampoule. Ces tubes fonctionnent sous un régime permanent avec une intensité de 3 milliampères et une différence de potentiel ne dépassant pas 150.000 volts.

Pour les tensions plus élevées, employées en radiothérapie pénétrante, il est indispensable de modifier les tubulures. Certaines de ces ampoules sont complètement immergées dans un bac d'huile.

Tubes auto-sélecteurs :

Divers procédés sont employés pour assurer le refroidissement de l'anticathode :

a) *Ampoule à radiateur à ailettes.*

La pastille de tungstène constituant l'anticathode est insérée dans un tube de cuivre, bon conducteur de la chaleur, qui est prolongé à l'extérieur de l'ampoule par un radiateur à ailettes assurant le refroidissement de l'anticathode.

Ce modèle d'ampoule est d'un maniement commode en raison de son volume relativement faible.

b) *Ampoule à radiateur à eau.*

Une boule métallique creuse contenant de l'eau fait suite à l'anticathode.

Pour être complet, signalons les ampoules à anticathode tournante qui s'échauffent peu en raison de la mobilité de leur point d'impact.

Pour que l'emploi de ces tubes soit sans danger, il faut les entourer d'une cupule métallique protectrice.

Les ampoules Métalix ont l'avantage sur les précédentes d'être constituées par un cylindre de ferrochrome comportant une fenêtre en verre qui est seule perméable aux Rayons X. La soudure entre ferrochrome et verre est possible grâce à l'identité de leur coefficient de dilatation.

Le refroidissement de l'anticathode est assuré, comme dans l'ampoule Coolidge, par un radiateur à ailettes ou à eau.

Kenotrons

Ces appareils ont pour but d'arrêter l'onde inverse. Ils sont basés sur le même principe que l'ampoule Coolidge auto-sélectrice, c'est-à-dire que l'émission des électrons permettant le passage du courant est strictement unidirectionnelle et assurée par la cathode.

A l'intérieur d'un tube ayant la même forme qu'une ampoule Coolidge et où existe un degré de vide identique, est placé un filament de tungstène constituant la cathode que l'on porte à l'incandescence à l'aide d'un transformateur dont l'intensité est réglable par un rhéostat.

L'anode est formée par un cylindre en molybdène entourant complètement le filament et est reliée à l'extrémité opposée du tube. Les tubes Coolidge fonctionnent à saturation sous un voltage élevé et l'énergie cinétique des électrons émis par le filament est d'autant plus grande que le filament est moins échauffé pour une même force électro-motrice du générateur.

Il est à noter que le kénotron diffère du tube en raison de sa construction et par la forte émission thermo-électronique du filament beaucoup plus échauffé et de plus gros calibre.

Le nombre des électrons émis par unité de temps est beaucoup plus grand que pour le tube Coolidge et le courant de saturation est d'autant plus intense. En série, avec le tube Coolidge, l'appareil ne fonctionne plus à saturation. Traversés tous deux par la même intensité, celle-ci détermine aux bornes du kénotron une chute de potentiel infiniment plus faible qu'aux bornes du tube.

Dans le kénotron, les électrons possèdent donc une énergie cinétique beaucoup moins grande et, d'autre part, leur zone d'impact sur l'anode est beaucoup plus étendue que dans le tube Coolidge. Il en résulte que l'énergie dégagée au moment de leur arrêt, par unité de surface de l'anode, sera facilement dissipée par le rayonnement thermique de cette anode qui restera froide et incapable d'être à son tour le siège d'une émission thermo-électronique ; en conséquence, l'onde inverse ne pourra pas passer.

Grande résistance du tube, faible résistance du kénotron, tels sont les traits principaux à retenir pour comprendre le rôle joué par ces deux appareils dans les générateurs.

Dans les montages utilisant une bobine d'induction, ou des dispositifs en pont de Wheatstone, le kénotron, comme nous venons de l'expliquer arrêtera les ondes inverses à la polarité du tube. Dans les montages utilisant des condensateurs, c'est la différence d'intensité du courant de saturation dans le tube à Rayons X et dans le kénotron qui constitue le fait essentiel ; elle conditionne la durée de charge et de décharge des condensateurs en rendant dissemblables les constantes de temps des circuits de charge et du circuit de décharge.

Nous reviendrons sur ces points de détail au sujet de l'étude théorique du courant émis par les générateurs à propos de chacun des appareils envisagés.

DESCRIPTION DES GENERATEURS ET ETUDE DU COURANT PARCOURANT LES AMPOULES

1° Appareil monté sur bobine

On sait que pour transformer le courant de basse tension fourni par le secteur, on a recours à deux sortes d'appareils :

a) Les bobines d'induction ou transformateurs à circuit magnétique ouvert ;

b) Les transformateurs proprement dits, à circuit magnétique fermé.

Les phénomènes d'induction mis en jeu dans les deux cas sont soumis aux lois suivantes :

Tout conducteur parcouru par un courant crée autour de lui un champ magnétique, dont l'intensité est fonction de celle du courant et de la nature du milieu.

Si, pour une raison quelconque, le flux dans un circuit naît, varie ou disparaît, il y a production d'un travail. Cette énergie devant se retrouver sous une forme quelconque, il se produit dans le circuit une variation d'intensité qui constitue le phénomène d'induction. Si, dans la position initiale, il n'y a pas de courant, le phénomène d'induction en fait naître un, dont la force électro-motrice est proportionnelle à la longueur du conducteur soumis à la variation du champ

magnétique et est d'autant plus grande que cette variation est plus rapide.

D'après la loi de Lenz, le sens du courant d'induction est toujours tel qu'il tend à s'opposer au phénomène qui lui donne naissance.

La quantité d'électricité induite dans le secondaire est proportionnelle à la valeur absolue de la variation d'intensité dans le primaire et circule pendant un temps égal à la durée de cette variation.

Le fonctionnement des bobines d'induction et des transformateurs est basé sur la connaissance de ce phénomène. En principe, quel que soit le circuit d'alimentation, ils comportent tous un inducteur ou primaire formé d'un petit nombre de spires de gros fil parcourues par le courant à transformer et d'un induit ou secondaire comprenant un grand nombre de spires de fil fin où prend naissance le courant induit.

La bobine d'induction comprend, en outre, un noyau de fer doux de forme rectiligne.

Si l'induit est alimenté par du courant continu, il faudra, pour obtenir une variation de flux, couper et rétablir périodiquement le courant ; on devra donc adjoindre à l'appareil élévateur de tension un interrupteur qui coupera et rétablira périodiquement le courant à une cadence telle que l'intensité ait le temps de reprendre sa valeur maxima avant chaque rupture, ce qui nécessite un certain délai en raison de la self du circuit.

Si l'on alimente cette bobine au moyen de courant alternatif, le champ magnétique suivra chaque va-

riation de ce courant, et, les forces électro-motrices qui prennent naissance dans le circuit seront également alternatives chaque fois que la variation du courant sera d'une demi-période, c'est-à-dire chaque fois que le champ magnétique passera d'une valeur maxima à la valeur maxima de sens inverse.

Cependant, ces variations s'effectuent en un temps relativement long et il est évident que, pour une même intensité maxima admise dans la bobine, les phénomènes d'induction seront plus intenses que la variation d'intensité s'effectuera en un temps plus court. Dans ce but, on utilise également pour le courant alternatif un interrupteur qui le coupe lorsqu'il a atteint sa valeur maxima.

Cet interrupteur rotatif est entraîné par un moteur synchrone au courant.

Dans le cas de l'appareil monté sur bobine que nous avons étudié, il s'agissait d'un interrupteur à jet de mercure.

Cet interrupteur se compose d'une petite turbine en fonte de forme conique, qui plonge dans du mercure contenu dans un récipient métallique entièrement clos. Elle est creusée d'un canal central dont la partie inférieure baigne dans le mercure, et qui se termine en haut par une ouverture aboutissant à la partie supérieure du pourtour du cône.

Cette turbine est entraînée par un moteur électrique synchrone ; sous l'influence de la force centrifuge, le mercure monte dans le canal et sort par l'ou-

verture supérieure sous forme d'un jet ininterrompu. Ce jet de métal conducteur vient frapper successivement des palettes de cuivre disposées circulairement et réunies au primaire de la bobine. A chaque contact du mercure et de la palette, le courant se trouve rapidement rétabli et rompu. Le mercure, bon conducteur et offrant peu de résistance au courant, étant donné la section assez grande du jet, il est possible de faire passer dans le primaire de la bobine des intensités assez élevées et réglables au moyen d'un rhéostat.

Le récipient contenant le mercure est hermétiquement clos et constamment rempli de gaz d'éclairage, que l'on renouvelle chaque fois que l'on se sert de l'appareil.

Pour supprimer l'étincelle de rupture, il est nécessaire d'adjoindre à l'interrupteur un condensateur, qui, au moment où se produit cette étincelle, se charge par le courant de self-induction pour se décharger à la phase suivante.

La capacité de ces condensateurs est généralement comprise entre 1 et 3 micro-farads.

Un kénotron est monté en série avec l'ampoule, afin d'arrêter l'onde inverse.

FORME THÉORIQUE DU COURANT DES GÉNÉRATEURS

A BOBINE

Théoriquement, on a cherché à prévoir la forme du courant donné par ces générateurs en admettant l'existence de deux ondes induites successives, dont la première correspond à la période d'établissement du

courant primaire et la seconde à la période de rupture.

La quantité induite étant la même dans les deux cas, l'intensité sera plus grande lors de la rupture que lors de la période d'établissement. L'onde induite à utiliser sera l'onde de rupture. L'onde induite de fermeture sera beaucoup moins intense et, dirigée en sens inverse, pourrait détériorer l'ampoule. On la supprime par un kénotron.

On admet donc que le courant se présente sous forme d'ondes en clocher se produisant à chaque rupture du primaire et séparées les unes des autres par des intervalles pendant lesquels l'intensité reste nulle.

COURBE OBTENUE EXPÉRIMENTALEMENT.

Nous avons utilisé le dispositif dit « intensif », suivant lequel la même bobine comporte deux circuits primaires et un secondaire, chacune des demi-périodes du secteur que l'on interrompt au voisinage de leur valeur maxima est transmise dans l'un des deux primaires, redressé par rapport à l'autre. Il en résulte deux ondes secondaires se succédant à $1/100^e$ de seconde pour un courant de secteur de 50 périodes par seconde.

Avec ce dispositif, l'onde induite ne se présente pas sous forme d'une impulsion en clocher mais réalise une onde véritable durant environ 8 mm. sur le tracé, soit une demi-période (1).

(1) Sur la reproduction des courbes incluses dans cet ouvrage, la réduction est de l'ordre de plus de moitié (3 mm. correspondent à 8 mm.).

Les courbes d'inscription de la tension montrent que l'étincelle ne dure environ que $1/8^e$ de période (2 mm.; sur 16 mm.) et détermine 3 à 4 fortes impulsions du spot du galvanomètre, comme si l'interruption du courant ne s'effectuait pas brusquement en une fois, mais en plusieurs. Le courant déterminé par cette force électro-motrice induite ne se présente cependant que sous forme d'une onde unique, lorsque l'oscillographe, au lieu d'être monté en dérivation sur le tube, est monté en série avec lui.

On peut s'expliquer ce phénomène de sommation comme résultant d'un effet de capacité dû au condensateur de Fizeau, la constante de temps du circuit, en raison de la forte self de la bobine et de la grande résistance du tube étant relativement élevée. Il suffit qu'elle atteigne $1/1600^e$ de seconde pour que les impulsions s'additionnent, puisque deux impulsions d'une même onde sur la courbe de tension sont séparées par un demi-millimètre, écart correspondant à $1/50^e$ de seconde.

L'effet du kénotron serait non seulement utilisé à supprimer l'onde inverse classique, mais encore à arrêter les ondes inverses résultant d'une étincelle de rupture fragmentaire, comme si le jet de mercure était discontinu ou tout au moins se brisait de façon variable en frappant l'électrode de fer de l'interrupteur à turbine.

Ce rôle joué par la forme de l'étincelle de rupture dans les phénomènes d'induction, en particulier, dans l'apparition de brusques accidents morcelant la

courbe du courant secondaire, a été signalé, à propos de l'étude du courant faradique donné par les bobines d'induction, par MM. Strohl et Desgrez dans une communication à la Société d'Electrologie et de Radiologie à la Séance de février 1929. Ces auteurs estiment que les oscillations à pente abrupte, et d'amplitude très irrégulière, visibles sur les oscillogrammes réalisés en particulier avec la « bobine à gros fil » proviennent de l'irrégularité des étincelles au moment de la coupure, plutôt que d'oscillations propres dues à la self et à la capacité des enroulements de la bobine.

2° Appareils montés sur transformateur

La différence essentielle entre les bobines d'induction et les transformateurs réside dans la forme du noyau. Alors que, dans les premières, le noyau est rectiligne, il affecte dans les seconds la forme d'un cadre.

Les deux enroulements du transformateur sont comparables à ceux de la bobine ; le primaire et le secondaire peuvent être concentriques et enroulés sur la même branche ou bien occuper chacun une branche. D'autres dispositifs ont été étudiés afin d'éviter autant que possible les fuites magnétiques.

L'armature du transformateur est formée de tôles minces, isolées entre elles. Cette feuillure entrave la formation des courants de Foucault.

Les bobinages primaire et secondaire sont toujours isolés entre eux. Le secondaire est séparé du noyau au moyen d'un tube de bakélite.

Les enroulements sont isolés, soit par un élément solide (bakélite), soit par un élément pâteux (mélange de graisses minérales). Le procédé le plus employé actuellement consiste à immerger tous les éléments du transformateur dans un bain d'huile fluide.

L'ensemble est entièrement démontable pour permettre les réparations.

On sait que, théoriquement, dans un transformateur, le produit de l'intensité par la tension au primaire est sensiblement égal au produit de la tension par l'intensité au secondaire et que le rapport entre ces deux quantités représente le rendement.

Mais il faut, en pratique, tenir compte des chutes de tension dues à des causes diverses :

- Résistance de l'enroulement primaire ;
- Fuites magnétiques dans le secondaire ;
- Pertes par courants de Foucault, etc.

1° SÉLECTEUR D'ONDES.

Nous n'avons employé pour les inscriptions cet appareil, qui n'est plus utilisé actuellement, qu'en raison de la disposition schématique.

Il comprend :

— Un transformateur élevant la tension du courant alternatif fourni par le secteur.

— Une soupape électrolytique sur le primaire, constituée par un vase de verre renfermant une solution saturée de phosphate de sodium dans laquelle plonge un tube de plomb contenant un bâton d'aluminium pur.

Par suite de la décomposition électrolytique, le phosphate de sodium se transforme en phosphate d'aluminium, dont une mince lame se dépose sur le bâton d'aluminium ; le courant ne peut alors passer que dans un seul sens.

— Un dispositif mécanique permet le passage du courant dans le circuit secondaire au moment de la variation maxima d'intensité du courant primaire correspondant au sens admis par la soupape. Cet appareil comporte un axe en matière isolante, traversé perpendiculairement par une tige métallique pouvant être mise en contact avec deux secteurs opposés, reliés l'un à une des bornes de sortie du transformateur, l'autre à une des électrodes du tube à Rayons X, le pôle libre du transformateur étant réuni à l'autre électrode de l'ampoule.

Le contact se fait par courte étincelle entre la tige métallique du sélecteur et les électrodes fixes réunissant l'ampoule au secondaire du transformateur et ferme le circuit au moment de l'onde directe.

Cet appareil n'avait d'intérêt que lors de l'utilisation des ampoules à gaz, car il permettait d'atteindre 10 à 50 milliampères sous 100.000 volts, puissance insuffisante pour les radiographies effectuées avec les tubes Coolidge.

FORME DU COURANT FOURNI PAR LE SÉLECTEUR.

Théoriquement, le sélecteur donnera une onde s'élevant brusquement, lorsque le contact s'établit par étincelle entre la tige métallique et les secteurs fixes.

L'intensité croissant en pente abrupte atteint une valeur élevée correspondant au courant de saturation et décroît brusquement lorsque les extrémités de la tige métallique quittent les secteurs.

L'onde excitatrice du tube aurait donc une forme rectangulaire.

L'inscription graphique donne une courbe assez différente de cette conception théorique : l'intensité croît relativement lentement ; la portion horizontale de la courbe présente un maximum, comme si la saturation n'était pas rigoureuse ; la fin de l'onde est brusque, la courbe retombe à zéro beaucoup plus rapidement qu'elle ne s'est élevée.

Il semble bien, en étudiant la forme de la courbe des voltages, que le voltage maximum correspond à l'intensité maxima dans le tube, ce qui confirme cette idée que la saturation n'est pas rigoureuse.

2° COMMUTATEUR TOURNANT.

Alors que le sélecteur d'onde n'utilise qu'une des phase du courant alternatif, le commutateur tournant permet, en redressant l'onde inverse par un moyen mécanique, l'utilisation des deux alternances. En outre, avec ces appareils, on peut atteindre des puissances assez élevées.

L'installation d'un commutateur tournant comprend, comme celle du sélecteur d'onde, un transformateur assez puissant, destiné à élever la tension qui peut atteindre 150.000 volts. Outre le transformateur, il y a dans l'appareil un sélecteur redresseur mû par

un moteur synchrone et un petit transformateur à basse tension destiné au chauffage du filament de l'ampoule.

Nous ne décrivons pas le transformateur qui ne diffère pas de ceux que nous avons déjà vus. L'isolement entre le primaire et le secondaire doit être parfait, en raison des tensions élevées qu'il fournit.

Seul le sélecteur-redresseur retiendra notre attention : il en existe différents modèles. Prenons, par exemple, le commutateur tournant à moulinets. Il se compose d'un arbre en matière isolante aux extrémités duquel sont fixés deux moulinets. Chaque moulinet se compose de deux tiges disposées en en croix, perpendiculairement à l'axe de l'arbre. Une de ces tiges est en cuivre, l'autre en ébonite. Chaque extrémité de la tige d'ébonite contribuant à former un moulinet est reliée à l'extrémité opposée de la tige d'ébonite de l'autre moulinet par un fil conducteur isolé. L'ensemble des deux fils conducteurs fixé aux extrémités des tiges d'ébonite forme une commutation croisée.

Pour une position déterminée de l'arbre, les tiges de cuivre conduisent le courant secondaire, issu du transformateur, aux bornes de sortie de l'appareil, connectées aux électrodes de l'ampoule. Quand l'arbre a effectué $1/4$ de tour, entraînant le moulinet, les tiges d'ébonite occupent dans l'espace la position des tiges de cuivre et le couple des fils conducteurs réalise une commutation croisée. Il suffit donc que l'arbre tourne d'un quart de tour, à chaque alternan-

ce du circuit pour que le courant induit, alternatif à la sortie du transformateur, soit uni-directionnel aux bornes d'utilisation.

D'autres dispositifs ont été utilisés par les constructeurs : commutateur tournant à disques, à axe vertical ou bien comprenant un seul sélecteur monté sur deux transformateurs séparés ou comprenant deux enroulements secondaires.

Cet appareil est entraîné par un moteur synchrone dont le démarrage est assuré par un autre moteur ou un circuit auxiliaire que l'on coupe lorsque le moteur synchrone est lancé. On doit toujours vérifier, d'une part, le synchronisme et pour cela on peut utiliser la méthode stroboscopique, et d'autre part la phase d'accrochage du moteur. Divers indicateurs d'accrochage permettent de vérifier que cette phase est bien celle qui convient. A ces différents organes, il convient d'ajouter un ampèremètre et un milliampèremètre, qui donnent la mesure de l'intensité sur le primaire et indiquent celle qui parcourt le tube.

FORME DU COURANT DONNÉ PAR LE COMMUTATEUR Tournant.

On admet théoriquement que la courbe de l'intensité dessine des ondes à peu près rectangulaires. La durée de chaque onde est égale au temps d'opposition de l'extrémité des tiges des moulinets et des électrodes fixes, tenu compte de la longueur de l'étincelle qui prolonge ces temps.

Cependant l'examen d'un commutateur tournant en fonctionnement, et l'étude au miroir tournant des étincelles qui jaillissent entre les balais et les secteurs formant les électrodes fixes, montrent les caractères d'irrégularité de l'étincelle qui se décompose en réalité en une pluie d'étincelles d'intensité variable. Les courbes obtenues en plaçant l'oscillographe en série avec le tube montrent qu'à chaque opposition des électrodes, il se produit, non pas une impulsion unique, mais une série de 2, 3 ou 4 impulsions.

On distingue facilement sur le tracé plusieurs impulsions fortes successives avant que les oscillations d'amortissement s'effectuent librement.

A chaque commutation, ces ondes fragmentées sont réparties sur 10 m/m de longueur du tracé, une demi-période correspondant à 19 m/m. Etant donné la largeur de l'électrode secteur fixe, qui représente le huitième du cercle décrit par les balais, la durée de ces impulsions est sensiblement égale à la durée d'opposition des électrodes ; l'excédent est vraisemblablement dû à l'étincelle de rupture qui jaillit entre le secteur et le moulinet.

Toutes ces ondes ne sont pas identiques ; les conditions de passage dépendent des étincelles qui ne peuvent pas être rigoureusement identiques.

Pendant cette inscription, l'étincelle équivalente, mesurée au spintermètre, était de 7 cm. On remarque, en outre, sur le tracé de l'intensité, l'oscillogra-

phe étant monté en série avec le tube, que les oscillations d'amortissement qui séparent les impulsions s'effectuent franchement au-dessus de la ligne de zéro. Grâce au tube, le courant est unidirectionnel et persiste pendant tout le passage du commutateur devant les secteurs. Si on place l'oscillographe en dérivation sur le tube, on constate qu'entre chaque impulsion, se produisent des oscillations d'amortissement dont les élongations s'étendent régulièrement de part et d'autre de la ligne de zéro. La présence du tube agit donc sur la forme du courant en le régularisant. Ce rôle que joue le tube, très net avec le commutateur tournant, ne peut être mis en évidence dans le dispositif que nous avons décrit sous le nom de sélecteur d'onde.

La courbe donnée par l'oscillographe placé en série se superpose assez fidèlement avec la courbe donnée par le montage en dérivation.

Il est difficile d'expliquer la différence existant entre la forme du courant fourni par ces appareils. Peut-être la soupape électrolytique placée sur le primaire du sélecteur a-t-elle un rôle régulateur sur le courant secondaire par un phénomène de répercussion ?

APPAREIL A QUATRE KÉNOTRONS.

On peut aussi redresser une alternance secondaire par rapport à l'autre, au moyen de kénотrons. Un montage souvent employé est celui dit en pont de Wheastone. Bien que ce montage utilise les deux

phases, les kénotrons sont disposés de telle façon que le courant arrivant au tube est toujours de même sens.

Ce générateur se compose d'un transformateur à haute tension, de cinq transformateurs à basse tension pour le chauffage du filament de l'ampoule, des quatre soupapes et enfin des organes de réglage. Le transformateur à haute tension est du même type que celui employé par les contacts tournants ; sa puissance peut atteindre 15 kilowatts et même davantage. Autour de cet appareil sont groupés, en deux ou trois bacs, les transformateurs de chauffage, chaque groupe de transformateurs comprenant une ou deux soupapes pour favoriser l'alimentation électrique. On règle séparément, au moyen de résistance, le circuit de chauffage de chaque kénotron, leurs filaments n'étant pas tous identiques.

L'appareil comprend, en outre, deux contacteurs : l'un qui assure la fermeture du courant de haute tension, l'autre qui ne permet de surchauffer les soupapes que juste pendant le temps nécessaire.

Certains appareils montés en pont de Wheatstone peuvent atteindre des tensions très élevées (200 kilovolts et plus) ; dans ce cas, le transformateur à haute tension est constitué par deux éléments identiques montés en série.

FORME DU COURANT DANS LES APPAREILS A 4 KÉNOTRONS.

A priori, on peut penser que, dans un tel dispositif, l'intensité atteint rapidement la valeur maxima cor-

respondant à la saturation du tube et s'y maintient pendant toute la demi-période considérée.

Les courbes obtenues à l'aide de l'oscillographe montrent au contraire que l'intensité n'est jamais constante, mais croît progressivement, passe par un maximum et décroît, comme s'il s'agissait non pas d'un circuit comportant un tube thermo-électronique, mais uniquement des résistances ohmiques. Le maximum est décalé vers la fin de l'onde secondaire.

Il est difficile de comparer la courbe du voltage avec la courbe de l'intensité. Il semble cependant que le maximum d'intensité correspond bien à la valeur maxima de la tension.

APPAREIL A UN KÉNOTRON.

Ici, on utilise qu'une seule demi-période, admise à travers le tube, grâce à un kénotron placé en série avec lui, et qui arrête l'onde inverse correspondant à l'autre demi-période.

FORME DU COURANT DANS LES APPAREILS A UN KÉNOTRON.

Le voltage croît assez lentement et, pendant un temps appréciable, le tube fonctionne sous une tension très faible par rapport à la tension maxima supportée.

Dans les montages n'utilisant qu'un seul kénotron, il semble que le courant puisse s'inverser pendant la période correspondant à l'onde inverse. Nous pensons que le fait n'est apparent et qu'il ne s'agit pas

de courant passant réellement dans les ampoules, mais de pertes qui peuvent avoir lieu à travers les supports de kénotron et de l'ampoule, lors de l'inversion de la tension au secondaire.

GÉNÉRATEUR A TENSION CONSTANTE.

Les deux bornes d'utilisation du transformateur à haute tension sont reliées chacune à un circuit magnétique comprenant un condensateur et un kénotron. Ces deux kénotrons sont disposés en sens inverse, c'est-à-dire que la même sortie du secondaire du transformateur est reliée d'une part à la cathode du premier kénotron et, d'autre part, à l'anode du second, chaque kénotron étant monté en série avec l'un des condensateurs.

La cathode du tube à rayons X est reliée d'une part à l'anode du premier kénotron et d'autre part à l'armature interne du condensateur correspondant, tandis que l'anode est reliée à la cathode du second kénotron et à l'armature interne de l'autre condensateur, des résistances étant disposées sur le circuit de décharge de part et d'autre de l'ampoule.

FORME THÉORIQUE DU COURANT FOURNI PAR LA TENSION CONSTANTE.

L'étude du fonctionnement de la tension constante nous renseigne sur la forme de courant produit. Lors d'une alternance sur le primaire, la polarité de l'onde induite est telle que le courant peut traverser un des kénotrons, mais ne peut traverser l'autre. A

travers l'un des kénotrons, l'onde induite vient charger le condensateur correspondant situé du même côté. La tension de charge est égale à la tension totale du secondaire.

L'alternance suivante détermine sur le secondaire l'apparition d'un courant induit ayant une polarité inverse par rapport au précédent. Cette onde traversera le deuxième kénotron et chargera le condensateur correspondant sous une tension égale à la tension totale du secondaire. Le tube se trouve donc dans un circuit comprenant deux condensateurs en série, chaque demi-période chargeant un de ces condensateurs à une tension égale à la tension totale du secondaire.

Les charges de noms contraires des armatures proximales se neutralisent, puisque égales ; il existe entre les armatures externes des deux condensateurs en régime permanent ou en régime de marche, des charges de noms contraires sous une différence de potentiel double de la tension du secondaire. Le tube va donc être le siège d'un courant dont le potentiel initial sera le double de la tension secondaire fournie par le transformateur.

Pour que la tension soit sensiblement constante, il suffit que la constante de temps du circuit de décharge qui comporte le tube, soit grande par rapport à la constante de temps des circuits de charge des condensateurs. Les condensateurs sont placés en série lors de la décharge, ce qui produit un abaissement de la constante de temps, mais cet effet n'est

pas favorable à la régularisation de l'intensité. Il est très largement compensé par la différence qui existe entre la grande résistance du tube radiogène et la faible résistance des kénotrons, condensateurs et résistances intervenant dans le calcul de la constante de temps sous forme d'un produit. L'intensité sera d'autant plus constante que le débit du tube sera moins élevé, et en pratique, ces appareils sont appelés à fonctionner sous un faible régime.

Il est intéressant de préciser les conditions de début de passage du courant : théoriquement, le courant ne peut commencer à passer dans le tube qu'après la fin de la première demi-période, en tenant compte du déphasage. Il ne peut en effet se décharger que, lorsque la polarité du secondaire s'inversant, les charges de l'armature proximale d'une extrémité du transformateur sont neutralisées par les charges de signe contraire qui y apparaissent.

Le début de passage du courant à travers le tube Coolidge sera donc progressif, puisqu'il dépend à la fois de la charge du deuxième condensateur et de la décharge du premier condensateur. Pour de gros débits, le régime ne pourrait jamais, en conséquence, être rigoureusement constant, et le voltage ne serait jamais rigoureusement double du voltage aux bornes du secondaire. Dans la pratique, on utilise ces appareils sous de faibles débits et des voltages élevés ; dans ces conditions, il s'établit un régime permanent stable.

Sur le tracé que nous avons obtenu, l'intensité

oscille périodiquement. L'amplitude maxima de ces pulsions est de l'ordre de 1 mm. du tracé, l'intensité maximum correspondant à 9 mm.. La constance de l'intensité est donc approchée à 1/10 près dans notre expérience, qui a été réalisée du reste dans les plus mauvaises conditions de fonctionnement : faible voltage et relativement forte intensité, conditions nécessaires pour la réalisation de l'inscription graphique. Sur le tracé obtenu, l'intensité s'élève progressivement lors de la phase d'établissement, suivant une courbe à allure d'exponentielle prévue par la théorie.

GÉNÉRATEUR A TENSION PULSATOIRE.

Le transformateur possède deux enroulements secondaires en série, ayant chacun une extrémité reliée à une borne commune qui peut être mise à la terre, l'autre extrémité étant reliée à deux bornes distinctes et soigneusement isolées du sol (haute tension). La borne commune (point milieu) est reliée à la plaque d'un kénotron et au filament d'un autre, l'autre électrode de chacun des kénotrons étant reliée à la borne haute tension de l'enroulement secondaire correspondant, par l'intermédiaire d'un condensateur.

L'anticathode du tube Coolidge est reliée au fil qui connecte un des condensateurs et le filament du kénotron correspondant, la cathode au fil connectant l'autre condensateur et l'autre kénotron.

FORME THÉORIQUE DU COURANT FOURNI PAR LA TENSION PULSATOIRE.

Le secondaire du transformateur comportant un point milieu, les deux moitiés du secondaire alimentent deux circuits distincts, chacun sur la moitié de la tension totale du secondaire ; les deux kénotrons sont parcourus chacun par un courant qui vient charger le condensateur monté en série avec lui, sous la tension fournie par la moitié correspondante du secondaire, soit la moitié de la tension totale. Ces condensateurs ne commencent à se décharger que lorsque l'alternance suivante engendre dans la totalité du secondaire une onde induit de polarité inverse de la précédente. A ce moment, les deux condensateurs et le secondaire sont en série dans le circuit du tube Coolidge, soumis de ce fait à une tension double de celle du secondaire.

La *forme théorique du courant* est donc la suivante : pendant une demi-période, les condensateurs se chargent. Les charges qui s'accumulent sur les armatures externes reliées au tube à rayons X, ne peuvent se libérer et donner un courant à travers celui-ci, puisque les charges des armatures internes des condensateurs sont bloquées par la tension du secondaire du transformateur. Elles ne seront libérées progressivement, que lorsque cette tension diminuera. Un certain débit doit s'établir à travers le tube, sous une intensité qui croît jusqu'au moment où la tension aux extrémités du secondaire atteint son potentiel maximum.

La tension ne peut donc être réellement doublée que si la charge des condensateurs ne diminue pas sensiblement pendant la période de croissance de l'intensité.

Ceci suppose que la constante de temps des circuits de charge des condensateurs est plus faible que la constante du temps du circuit de décharge ; la résistance du kénotron, plus faible que la résistance du tube Coolidge abaisse la constante de temps des circuits de décharge, bien que, lors de la décharge, les capacités soient placées en parallèles, alors qu'elles sont en série lors de la décharge à travers le tube.

Dans un tel montage, il est à remarquer, que chaque kénotron ne supporte que la moitié de la tension appliquée au tube Coolidge.

FORME RÉELLE DU COURANT DE LA TENSION PULSATOIRE.

Sur les courbes obtenues, nous voyons que, lorsque le régime est stabilisé, une période correspond à 1 cm 75 et qu'une pulsation dure 1 cm 05, chaque pulsation étant séparée de la suivante par un brusque retour au zéro durant 0 cm 7. La décharge des condensateurs commence effectivement avant la fin de la première demi-période, l'intensité croît progressivement avant d'atteindre son maximum : la courbe s'élève d'abord assez rapidement, puis atteint plus lentement un premier maximum, puis un deuxième maximum et retombe très brusquement à zéro. La croissance lente du début de la pulsation confirme également le fait que la décharge des condensateurs commence avant la deuxième demi-pé-

riode. Si l'on examine la totalité du tracé, on constate qu'un tel régime n'est atteint qu'après un temps appréciable. Au début de la mise en marche, chaque pulsation ne dure que pendant 0 cm 9, c'est-à-dire une demi-période exactement.

La valeur maxima de l'intensité est faible, de l'ordre de la moitié de l'intensité du régime définitif de marche. Le régime définitif ne s'établit qu'après 1/5 de seconde de fonctionnement.

En comparant la courbe de l'intensité et la courbe de la tension, on constate, grâce à l'inscription des alternances du secteur, que le maximum de tension correspond à l'inflexion de la courbe de l'intensité séparant les deux maxima. Cette non simultanéité entre l'intensité maximum et la tension maximum peut trouver son explication dans le fait que, lors de l'inscription de la tension, les constantes de temps du circuit d'utilisation sont modifiées du fait de la présence de l'oscillographe shuntant le tube à rayons X.

INFLUENCE DES COURANTS D'ALIMENTATION SUR LA DUREE DES AMPOULES RADIOLOGIQUES

Les recherches que nous avons faites dans différents services de l'Assistance publique, nous ont permis de rassembler le nombre d'heures de fonctionnement des tubes montés sur des générateurs différents.

Nous n'avons retenu que les tubes radiogènes ayant fonctionné plus de 100 heures, admettant que les tubes de vie plus courte comportaient des vices de construction où avaient été soumis à une utilisation anormale.

Sur 54 ampoules, nous en trouvons 14 détériorées en moins de 50 heures de service. Parmi les 40 autres, 6 seulement ont fonctionné moins de 300 heures, soit : 124, 139, 155, 207, 208 et 275 heures.

Pour effectuer utilement ces comparaisons, nous n'avons retenu également que les ampoules de Radiothérapie, considérant que les multiples usages du Radiodiagnostic soumettent les ampoules à des conditions variables suivant l'utilisation qui en a été faite.

Voici les durées que nous avons relevées dans

les Services Centraux d'Electro-Radiologie de Saint-Louis, de la Pitié et de Cochin, grâce à l'obligeance de MM. Belot, Delherm et Ronneaux.

Bobine 120 KV.

406 heures
453 —
502 —
667 —
675 —
744 —
856 —
1592 —
1754 —
1957 —
1964 —
2117 —

Bobine 200 KV.

139 heures
207 —
366 —
428 —
492 —
652 —

Tension constante 200 KV.

124 heures
155 —
208 —
275 —
346 —
352 —
436 —
567 —
449 —
652 —
717 —

Tens. puls. 200 KV.

448 heures
717 —
788 —
951 —

Tens. puls. 300 KV.

366 heures

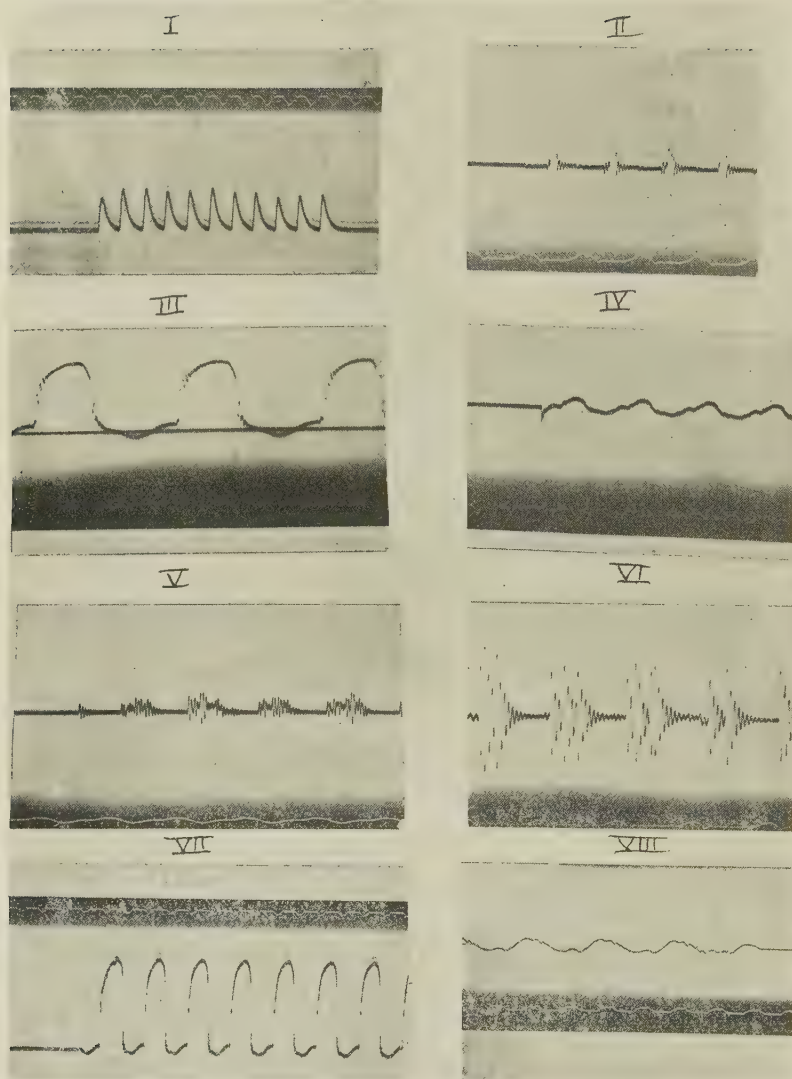
900 heures	
1063	—
1063	—
1659	—
1688	—
1935	—
2162	—

La durée moyenne des ampoules est la suivante :

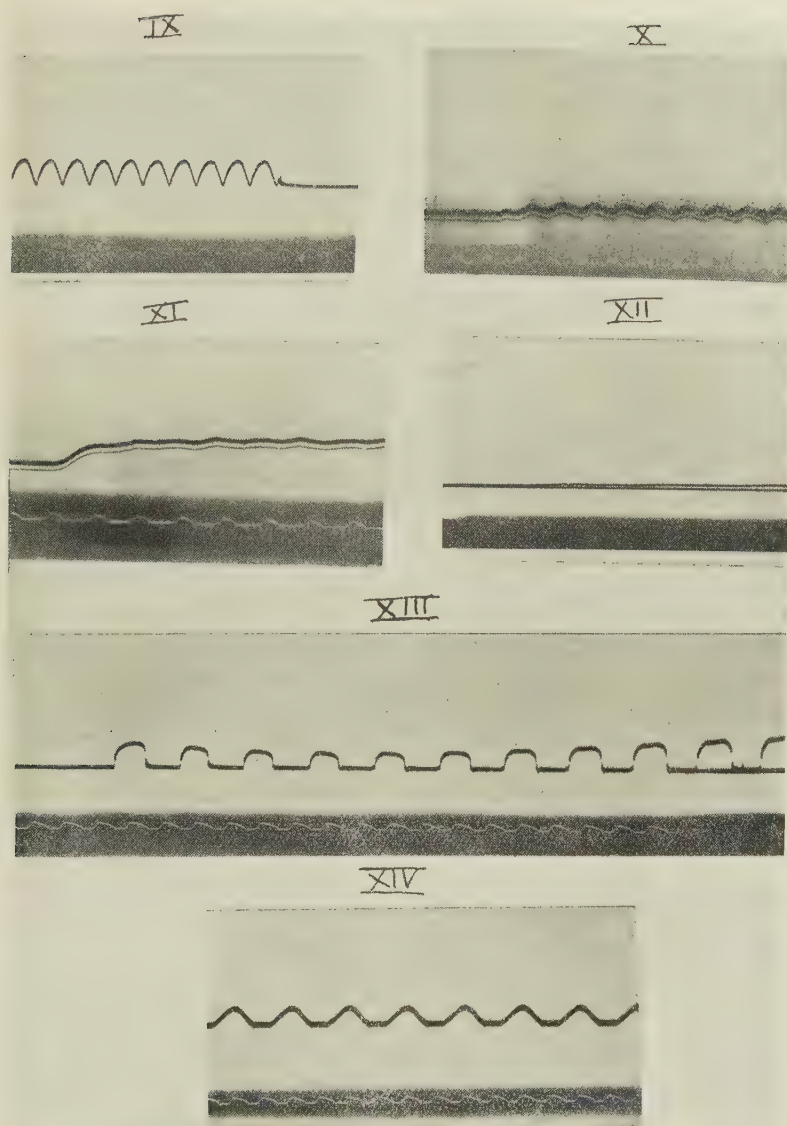
- pour la bobine 120 KV. 1140 heures ;
- pour la bobine 200 KV. 375 heures ;
- pour la tension constante 200 KV. 821 heures ;
- pour la tension constante 300 KV., une seule ampoule ayant duré 366 heures ;
- pour la tension pulsatoire 200 KV. 726 heures.

Nous voyons que la vie moyenne des ampoules montées sur tension pulsatoire et sur tension constante est sensiblement égale : 821 heures pour la tension constante et 726 heures pour la tension pulsatoire. Les variations brusques d'intensité à chaque pulsion dans la tension pulsatoire sont compensées au point de vue de l'usure des ampoules par les temps de repos ménagés entre chaque pulsion.

En ce qui concerne les générateurs à bobine, ces moyennes montrent que la durée des ampoules est très longue pour de faibles tensions, 1.144 heures pour 120 kV., mais, que sur des tensions plus élevées, le courant de bobine est plus nocif que le courant fourni par la tension constante ou la tension pulsatoire : la durée moyenne des ampoules n'est que de 375 heures sur bobine de 200 kV.



	<i>intensité</i>	<i>tension</i>
Montage sur bobine	I	II
Sélecteur	III	IV
Contact tournant	V	VI
Appareil à un kénotron	VII	VIII



	<i>intensité</i>	<i>tension</i>
S 4	IX	X
Tension constante	XI	XII
Tension pulsatoire	XIII	XIV

CONCLUSIONS

Les conclusions que nous croyons pouvoir tirer de notre travail sont les suivantes :

I. — Il n'est possible d'étudier la forme du courant d'alimentation des appareils à rayons X, à l'aide d'un dispositif comportant un oscillographe électro-magnétique de modèle courant, que d'une façon approximative.

II. — En ce qui concerne l'intensité, les tracés obtenus semblent relativement fidèles pour les types d'appareil utilisant des dispositifs de redressement à valve thermo-électronique, avec ou sans condensateurs. Il est plus difficile d'interpréter les tracés réalisés sur les générateurs comportant une bobine d'induction ou un commutateur tournant : les accidents que présente la courbe de l'intensité sont très accentués, à pente abrupte et mal suivis par l'oscillographe.

III. — En ce qui concerne la tension, les tracés sont d'interprétation plus difficile ; on doit tenir compte du fait suivant : la connexion de l'oscillographe aux bornes du tube, malgré la forte résistance qui est ad-

jointe, a pour effet de remplacer un circuit comportant un régulateur thermo-électronique, par un circuit ohmique. La forme du courant est donc certainement modifiée par l'introduction de l'appareil de mesure.

IV. — D'autre part, il est difficile de confronter deux tracés, l'un se rapportant au voltage, l'autre à l'intensité, qui n'ont pas été pris simultanément, malgré le soin que nous avons pris d'inscrire le temps des alternances à l'aide des alternances du courant du secteur.

V. — Cependant les courbes d'intensité nous ont montré que la forme réelle de l'intensité s'écarte certainement, bien que très peu, de celle prévue théoriquement : à partir du moment où la tension de saturation est atteinte, l'intensité ne doit pas varier tant que cette tension se maintient. Or, sur nos tracés, en particulier pour ce qui concerne l'appareil à quatre kénotrons et la tension pulsatoire, il existe des variations d'intensité qui ne cadrent pas avec ce principe. On peut les expliquer, soit par des fuites électriques le long des supports porte-ampoules, soit par une variation de saturation dans le tube lui-même.

Pour d'autres générateurs, appareils à bobine, commutateur tournant, l'onde est notablement moins régulière que la théorie ne le laissait prévoir.

VI. — Il nous a semblé intéressant de rechercher

s'il est possible d'établir un rapport entre la forme des courants traversant les tubes et la durée de ceux-ci. De la vie moyenne d'un tube, calculée d'après les statistiques de durée que nous avons pu relever dans quelques services hospitaliers grâce à l'amabilité de MM. Belot, Delherm et Ronneaux, il ressort que les générateurs ne sont plus nocifs à tension constante, si on n'envisage que le temps de fonctionnement. Par contre, si on envisage, non plus le temps, mais le débit en rayons X, la tension constante est supérieure à la tension pulsatoire.

Le rendement en rayons durs est probablement meilleur également avec la tension constante, étant donné la forme de la tension sous laquelle fonctionne l'ampoule montée sur tension pulsatoire, le tracé décrivant à chaque pulsation un angle d'environ 45° d'ouverture.

VII. — Il est admis que c'est avec les appareils à bobine que le rendement en rayons durs filtrés est le meilleur. La forme des courbes affecte en effet des accidents de pente très abrupte, de sorte qu'on peut admettre que la tension s'élève très brusquement, l'appareil ne fonctionnant que relativement peu de temps sous des tensions basses et en général trop basses pour pouvoir déterminer une émission de rayons capables de traverser le filtre.

La durée des tubes avec les générateurs à bobine est très variable suivant la tension utilisée : très lon-

gue sous des tensions de l'ordre de 120 KV., elle est notablement plus courte avec les bobines qu'avec les générateurs à tension pulsatoire ou constante pour les tensions de l'ordre de 200 Kv.

Vu :
LE DOYEN,
ROUSSY.

Vu :
LE PRÉSIDENT DE LA THÈSE
STROHL

Vu et permis d'imprimer :
LE RECTEUR DE L'ACADÉMIE DE PARIS,
S. CHARLÉTY.

TABLE DES MATIÈRES

Introduction	9
Technique	11
Tube Coolidge et Kénotron	17
Description des générateurs et étude du courant parcourant les ampoules	23
1° Appareil monté sur bobine	23
2° Appareil monté sur transformateur	29
Influence des courants d'alimentation sur la du- rée des ampoules radiologiques	47
Conclusions	53



BOSC FRÈRES, M. & L. RIOU

°° °° °° **IMPRIMEURS-ÉDITEURS** °° °° °°

°° **42, QUAI GAILLETON, 42** °°

°° °° °° °° **LYON** °° °° °° °°



